

# sustitución del tablero del puente **OMARU**

MISAO SUGAWARA y TSUTOMU NOGUCHI, ingenieros

569 - 8

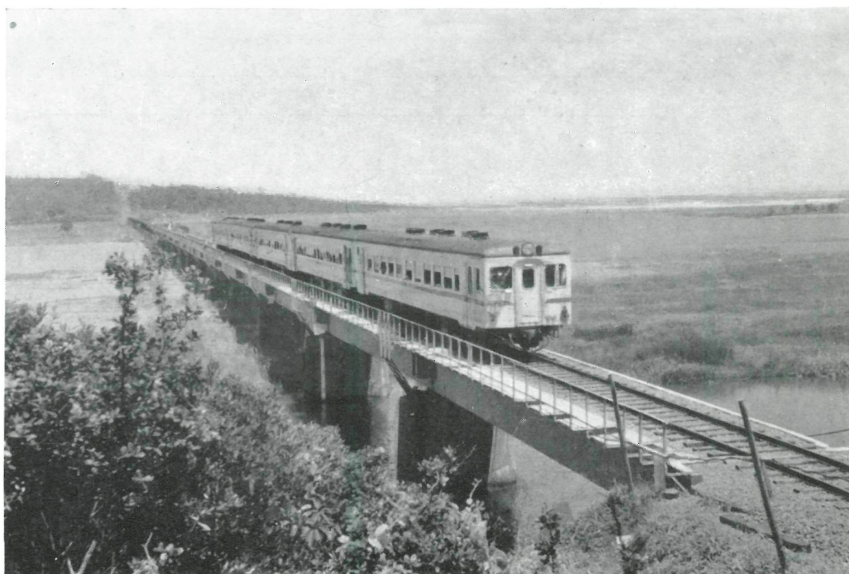
## sinopsis

El puente Omaru, sobre el que pasa la línea férrea de la isla Kyushu, del Japón, era de superestructura metálica, y se hallaba sometido a los efectos corrosivos del agua marina, ya que la obra está en las inmediaciones del mar.

Como los gastos de conservación son elevados y las estructuras metálicas sufren rápidamente los efectos de la corrosión, se estudió la posibilidad de sustituir las actuales vigas metálicas por otras, prefabricadas, de hormigón pretensado.

El problema planteado aquí es general, y la solución adoptada para tal sustitución en el puente de Omaru es como un ensayo previo, con el fin de poderla extender, debidamente perfeccionada, a otras estructuras, también metálicas, en las que la corrosión se deja sentir con intensidad y gravedad crecientes.

La preparación de vigas, métodos empleados para la sustitución, tren auxiliar, como material móvil y prefabricación, son objeto de descripción detallada en este trabajo.



El puente después de sustituir sus vigas metálicas.

En la isla Kyushu, del Japón, y sobre la línea férrea llamada Nippo, se halla situado el puente Omaru, de 805 m de longitud total, metálico y con pilas de hormigón, sobre el que pasan anualmente mercancías con un peso total de seis millones de toneladas.

Dicho puente se construyó en 1920, y está constituido por 35 tramos de vigas metálicas de 23 m de longitud. Esta obra sufrió desperfectos durante la última guerra, por cuyo motivo cuatro de sus tramos se repararon utilizando la soldadura, mientras que las vigas de otros cuatro tramos fueron sustituidas por otras nuevas. Como este puente se halla en las proximidades de la mar, y debido a su escasa conservación durante el período de la guerra, la estructura metálica ha sufrido una fuerte corrosión.

Dicha oxidación experimentada por las vigas de los cuatro últimos tramos reparados ha sido tan importante como las otras que llevaban ya treinta y cinco años de servicio. La causa de esta profunda oxidación fue motivada por la poca cantidad de cobre que contiene el acero. Dado el mal estado observado en el puente, se decidió reemplazar el tablero metálico por vigas de hormigón pretensado.

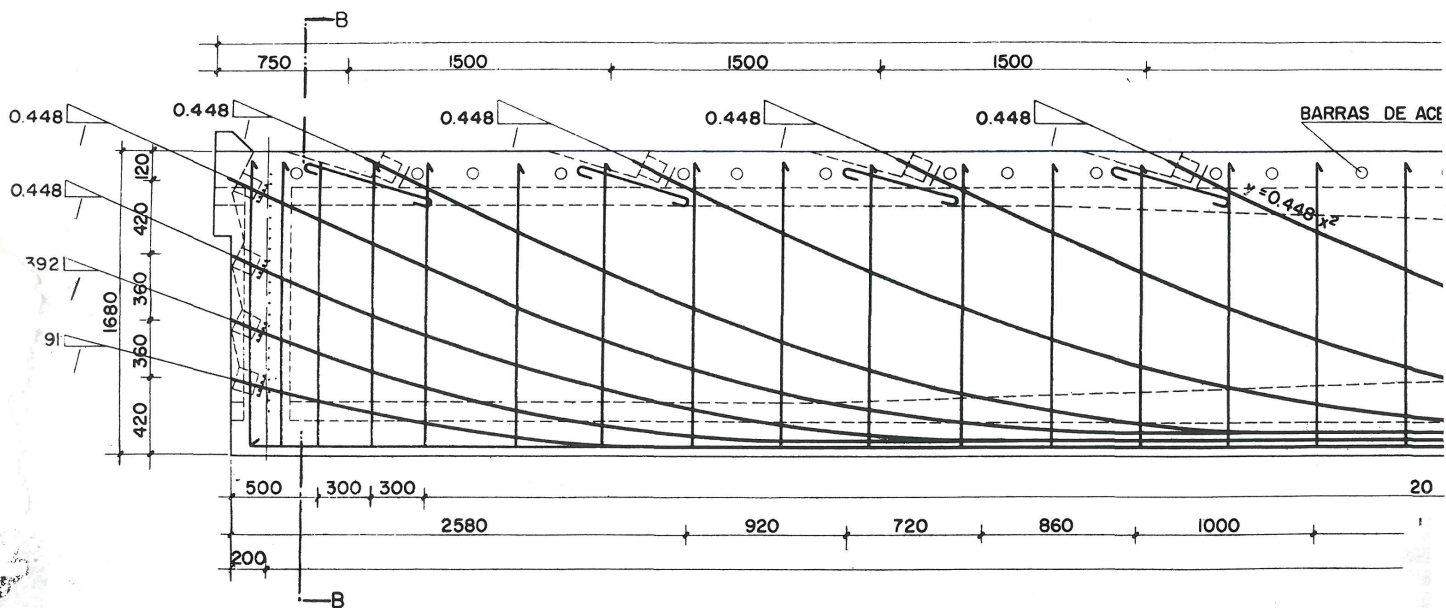
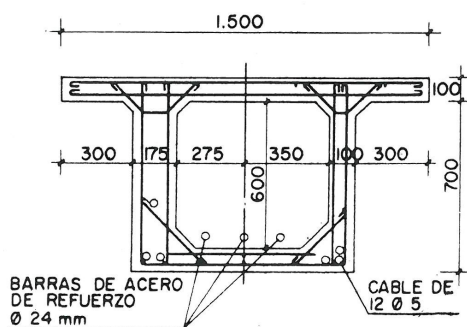
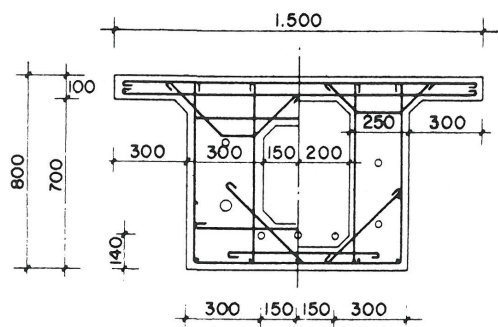
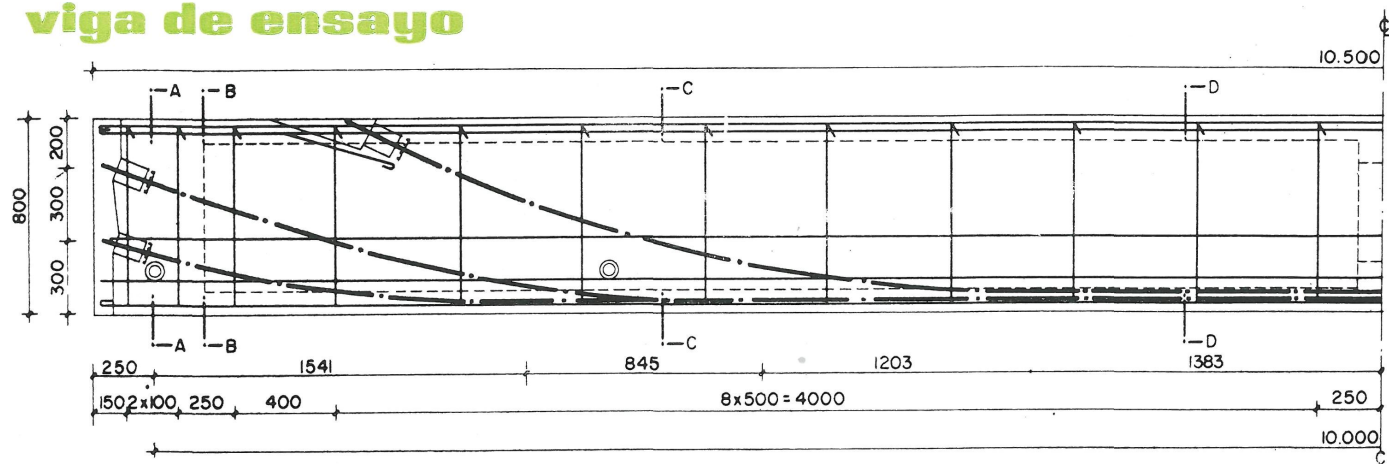
Ultimamente, la empresa nacional de líneas férreas ha cambiado, por otros nuevos, unos 700 tramos en puentes distintos.

Esta sustitución sigue actualmente su curso en el Japón, cambiando entramados metálicos por vigas prefabricadas de hormigón pretensado. Este material presenta gran ventaja económica respecto a obras metálicas, a causa de su reducido coste de conservación; por el contrario, como pesan mucho más, el material auxiliar para el montaje y sustitución no siempre es utilizable. Todo esto ha motivado se haya tenido que preparar un material especial, pesado, para realizar todas estas operaciones.

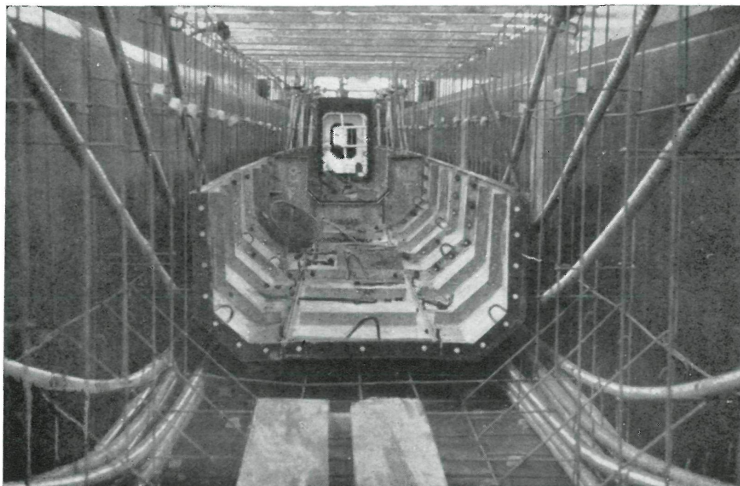
Para la sustitución de las vigas metálicas del tablero del puente Omarugawa se proyectó el material auxiliar de transporte y montaje, no sólo teniendo en cuenta las necesidades locales de esta obra, sino con las miras fijadas en el futuro.

Los métodos de sustitución que debían emplearse fueron objeto de un detenido estudio, en el que tres de ellos merecen especial mención: En el primero se prepara un entramado auxiliar de apoyo lateral a lo largo del puente, en el que se deslizan las vigas longitudinalmente hasta colocarlas a la altura de las que han de sustituir; después se corren las vigas metálicas hasta colocarlas en unos soportes laterales, formando ménsula, en el intervalo entre dos trenes. Acto seguido se desliza la viga pretensada hasta su lugar definitivo, se retira la viga metálica por medio de grúas y la operación ha terminado. En el segundo procedimiento se utiliza una viga tipo Bailey con sección en forma de pórtico que abraza la vía, pudiéndose mover sobre mesillas, y de tal forma, que permita retirar la viga metálica y colocar la viga de hormigón pretensado. Terminada esta operación se corre la viga Bailey a un nuevo tramo y se van repitiendo las operaciones sucesivamente en cada uno de los tramos.

## viga de ensayo





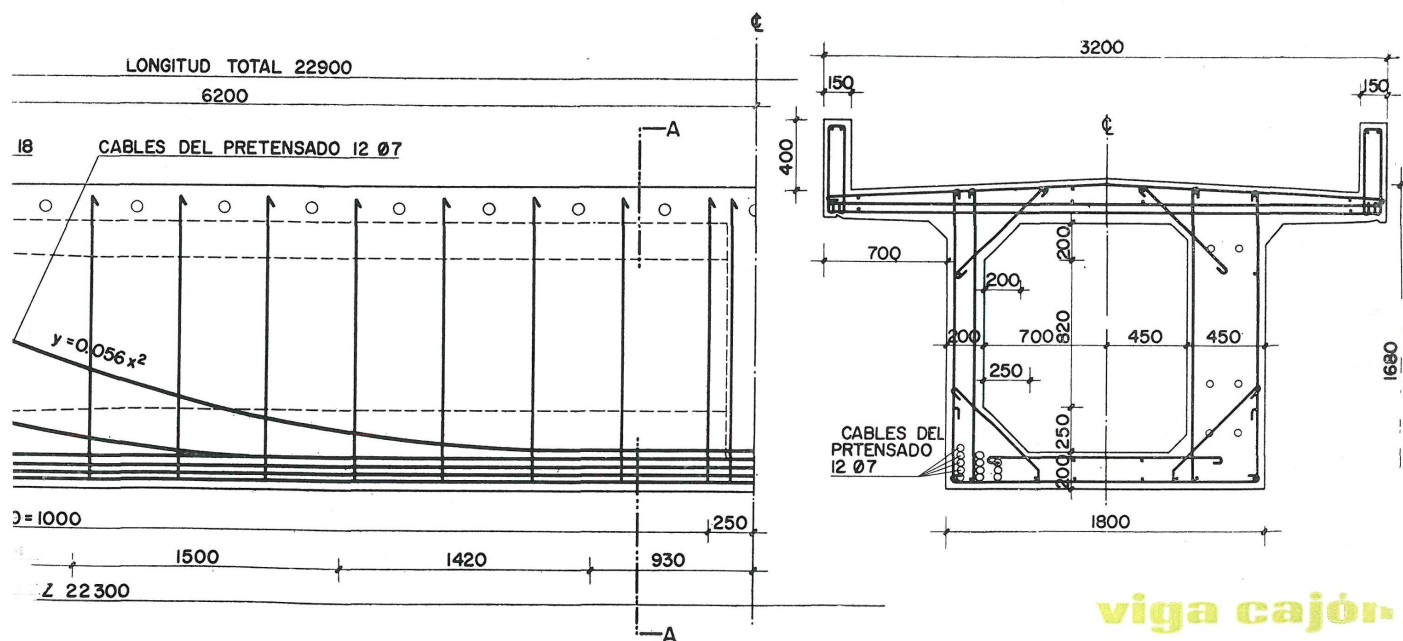


Encofrado metálico.

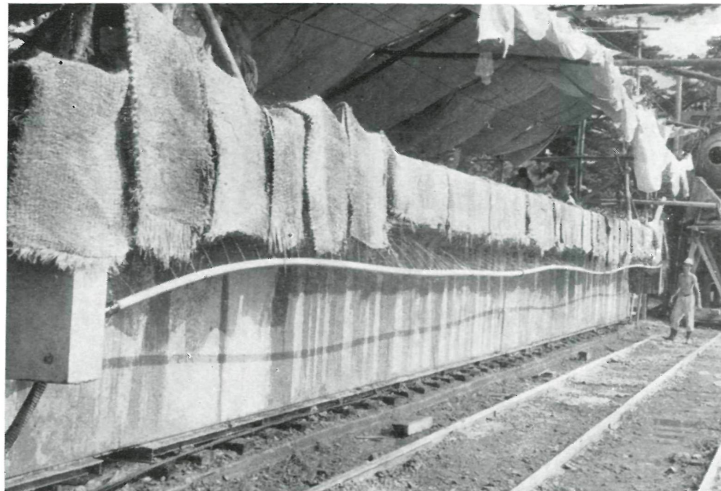
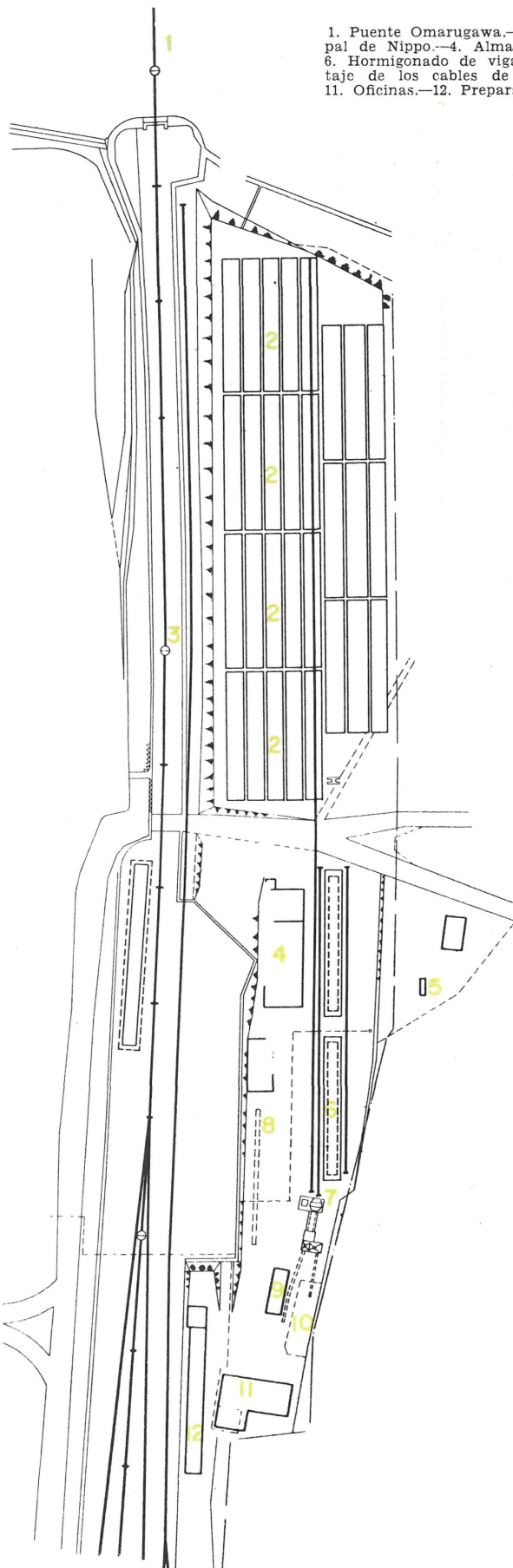
El tercer método, que ha sido el adoptado, debido a que el coste inicial de material auxiliar es amortizable por el gran número de reemplazos del equipo, consta de un tren compuesto de una locomotora, dos grúas montadas sobre dos plataformas, entre las cuales va la viga de hormigón pretensado que ha de sustituir a la metálica y un vagón taller-almacén.

El primer método resulta caro, ya que necesita un entramado lateral en toda la longitud del puente. El segundo método presenta el inconveniente de tener que operar en dos veces: una para la colocación de viga provisional Bailey y otra para retirar las vigas metálicas y colocar las de hormigón pretensado. Todo esto requiere el tiempo de dos intervalos de paso de trenes.

El tercer procedimiento exige un gran esfuerzo económico inicial, puesto que se ha de formar un tren provisto de dos plataformas móviles o rodadas sobre las que van instaladas dos grúas, una en cada plataforma, de 70 toneladas de capacidad. Pero el gran número de reemplazos futuros previstos justifica se haya adoptado, por fin, este sistema.



1. Puente Omarugawa.—2. Vigas almacenadas.—3. Vía principal de Nippo.—4. Almacén.—5. Preparación de armaduras.—6. Hormigonado de vigas.—7. Central hormigonera.—8. Montaje de los cables de pretensado.—9. Arena.—10. Grava.—11. Oficinas.—12. Preparación de vainas.



Curado del hormigón.

### Estudio de las vigas

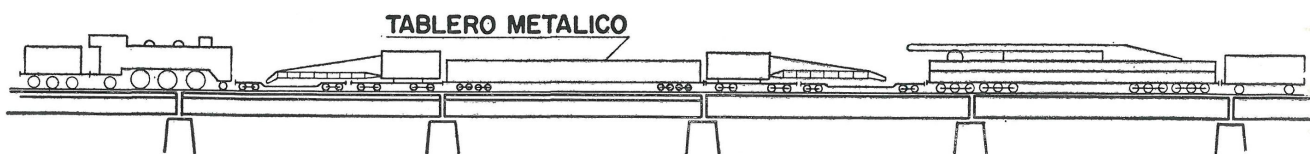
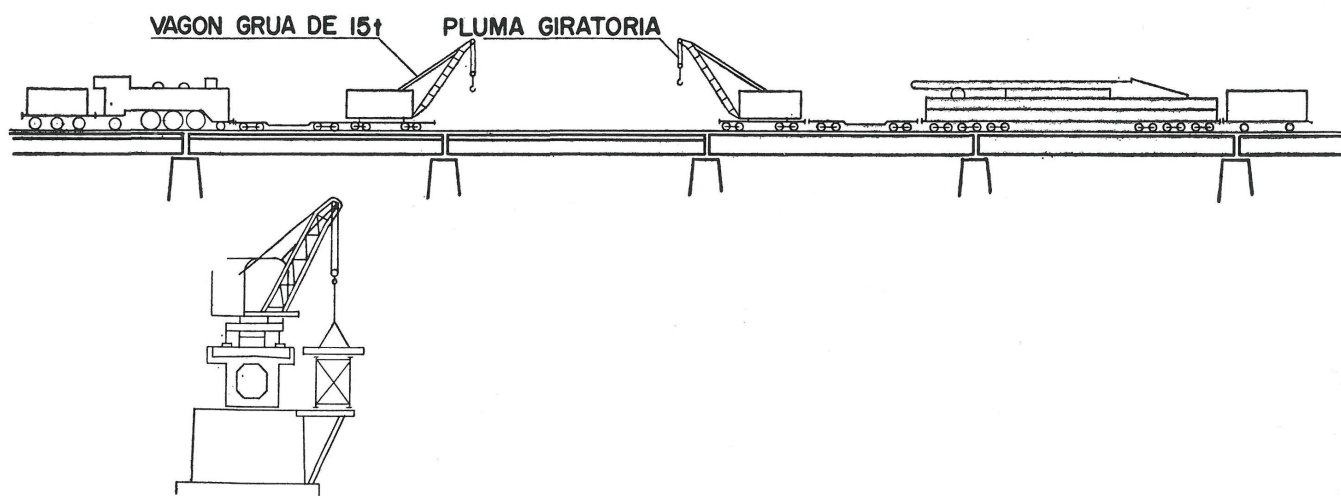
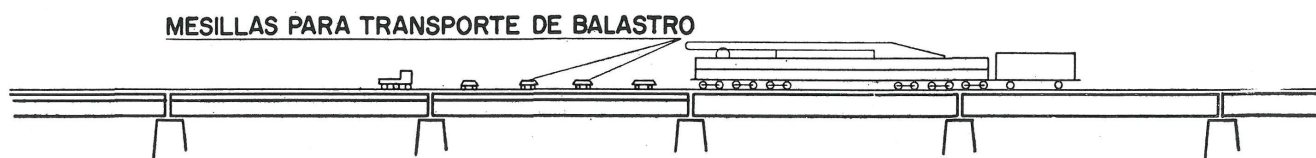
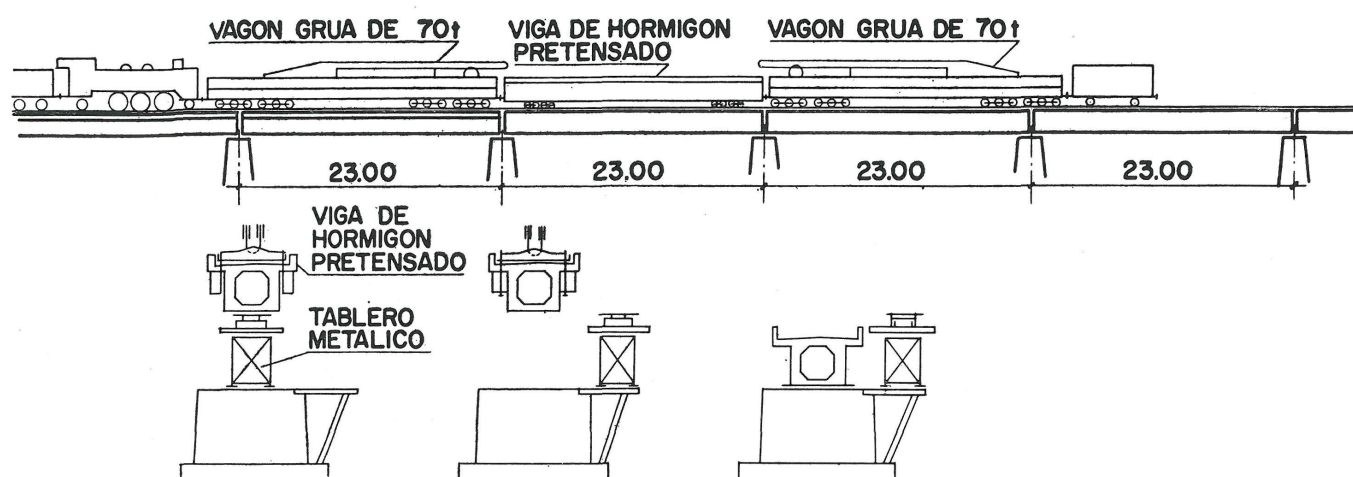
Al proyectar las vigas que debían sustituir a las metálicas del tablero del puente Omarugawa se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: en primer lugar, la resistencia a la corrosión del tablero; la reutilización de los soportes existentes, y, finalmente, la posibilidad de poder cambiar el tablero en el espacio de tiempo comprendido entre el paso de dos trenes.



Efecto de la corrosión en las vigas metálicas.

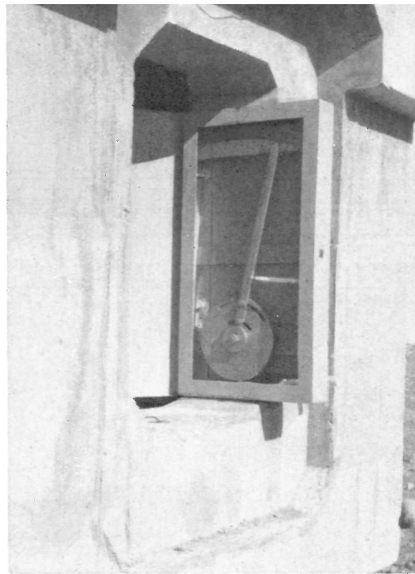


## fases de lanzamiento



Las vigas debían ser, siguiendo estas bases, ligeras en peso, con objeto de no tener que revisar la capacidad de sustentación de cimientos en caso de aumento de la presión sobre el terreno por aumento de peso. Para reducir la carga sobre cimientos se pensó en unir directamente los carriles a las vigas, con lo que se suprimía el balastro; pero como en el Japón no se tenía experiencia sobre el comportamiento de esta unión directa no se adoptó tal disposición.

Aparato para determinar la retracción.



## Ensayo sobre modelo reducido

La viga proyectada es de hormigón pretensado, tipo cajón y de 100 toneladas de peso. Se pretendió poder reforzar estas vigas en caso de aumento de sobrecargas, para lo cual se procedió a una serie de ensayos sobre modelo a escala media.

La probeta de ensayo, de 10 m de longitud, tipo cajón, tenía seis cables de 12 alambres de 5 mm de diámetro, tipo Freyssinet, y tres barras de acero duro, de 24 mm de diámetro, situadas en el interior del cajón. Estas barras pueden constituir el refuerzo suplementario de que se habló anteriormente. Los ensayos se han realizado con y sin estas barras.

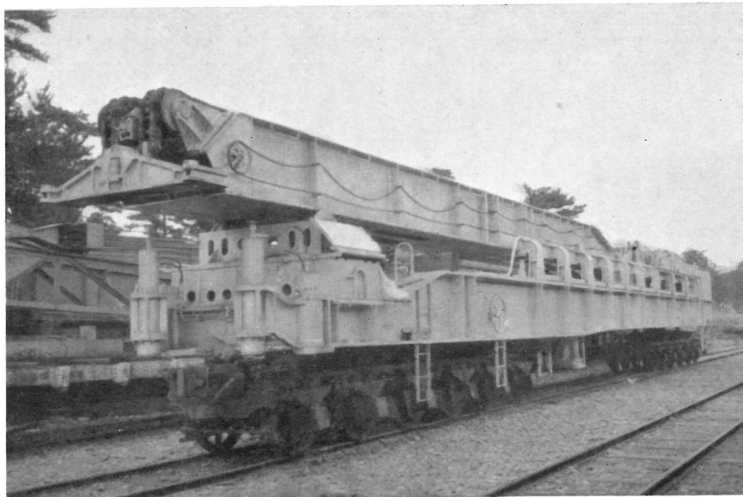
Dichos ensayos demostraron que si se produce una fisuración en las vigas al tesar las barras de refuerzo se pueden cerrar las grietas. También se observó que la variación de tensiones en los cables de pretensado y en las barras de refuerzo era de escasa importancia.

## Bases de cálculo

El nuevo tablero ha sido calculado imponiéndole el peso de un tren-tipo de la tercera categoría de las normas niponas con ejes de 16 toneladas. El coeficiente dinámico tomado en consideración es de 1,36. Las cargas límite para el hormigón han sido de 130 kg/cm<sup>2</sup> a compresión y de 10 kg/cm<sup>2</sup> a tracción durante la construcción solamente. Este hormigón debía tener una resistencia a la rotura de 400 kg/cm<sup>2</sup> a los veintiocho días y en probetas cilíndricas. La resistencia del acero sería de 155 kg/mm<sup>2</sup>, con un límite convencional de elasticidad de 135 kg/cm<sup>2</sup>. La tensión final prevista para el acero fue de 82 kilogramos/milímetro cuadrado.

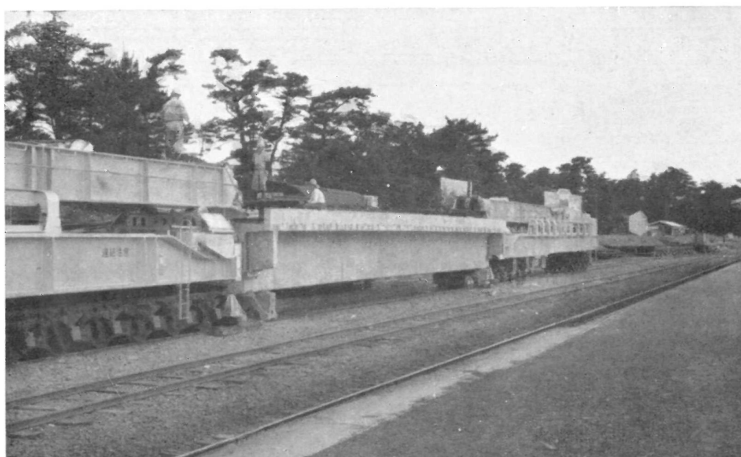
El coeficiente de retracción admitido para el hormigón es  $8,5 \times 10^{-5}$ , y la fluencia se ha evaluado como una deformación 1,95 veces la deformación instantánea en el pretensado, siendo la relajación del acero el 5 % de la tensión inicial. La carga principal admitida en las vigas sometidas a una sobrecarga de un eje de 16 toneladas y afectada de un coeficiente dinámico ha sido de 6 kg/cm<sup>2</sup>. Esta carga se eleva a 16 kilogramos/centímetro cuadrado si el eje se afecta de un coeficiente de 1,75. Los coeficientes de seguridad calculados para una carga estática y dinámica han sido de 3,32 y 1,93, respectivamente.

El clima benigno de esta isla excluye la posibilidad de heladas; pero, no obstante, se ha protegido la parte superior del tablero con una capa de betún. Sin embargo, para evitar la fisuración se ha pretensado el tablero transversalmente, utilizando barras de acero duro de 18 mm de diámetro.



Grúa de 70 t de capacidad sobre plataforma.

Tren con grúas y vigas de hormigón pretensado.





## colocación

### Preparación de las vigas

Las vigas se prefabricaron. Para ello se instaló un taller, próximo al puente, con abundantes medios mecánicos. Cada seis días se terminaba el hormigonado de una viga.

Con objeto de disminuir la fluencia y retracción, así como la elevación de temperatura durante el fraguado, la dosificación fue de  $380 \text{ kg/m}^3$  y la resistencia a la ruptura de  $400 \text{ kg/cm}^2$ . Los ensayos realizados con probetas cilíndricas dieron una resistencia media de  $465 \text{ kg/cm}^2$ . La resistencia a la tracción en ensayos de flexión fue de  $79,2 \text{ kilogramos/centímetro cuadrado}$ .

De los ensayos realizados sobre tres vigas se han obtenido los siguientes resultados: retracción a los mil días, del 35 al 55 % del valor calculado.

Los cables se componen de alambre de 7 mm de diámetro, con un límite elástico mínimo de  $139 \text{ kg/cm}^2$ , siendo  $135 \text{ kg/cm}^2$  el valor prescrito, mientras que la resistencia mínima de ruptura es de  $159 \text{ kilogramos/milímetro cuadrado}$ .

### Operación de tesado

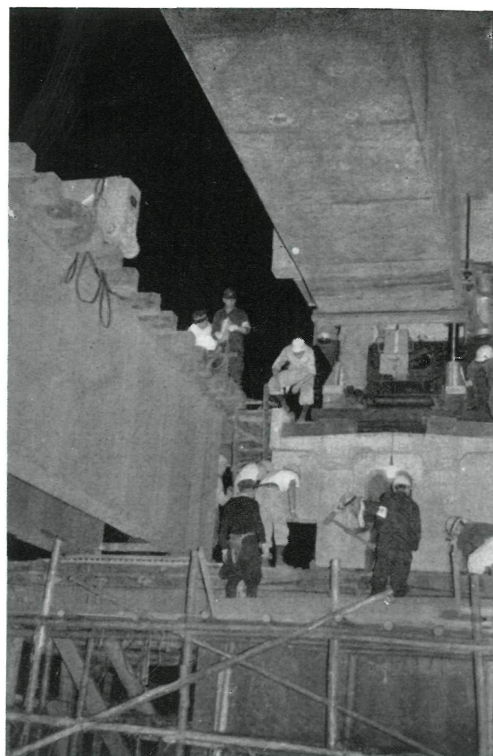
El pretensado se realizó en dos fases: en la primera, a los tres días de haber hormigonado, cuando la resistencia del hormigón era de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , se tesaron la tercera parte de los cables. Con esta medida se evitaron las grietas de retracción. A los diez días después del hormigonado, cuando la resistencia era de  $400 \text{ kg/cm}^2$ , se tesaron los dos tercios restantes de los cables.

El esfuerzo inicial en la mitad de la viga se estimó en 45,4 toneladas por cable, es decir, 1.090 t en total, lo que da una compresión de  $98,5 \text{ kilogramos/milímetro cuadrado}$ .

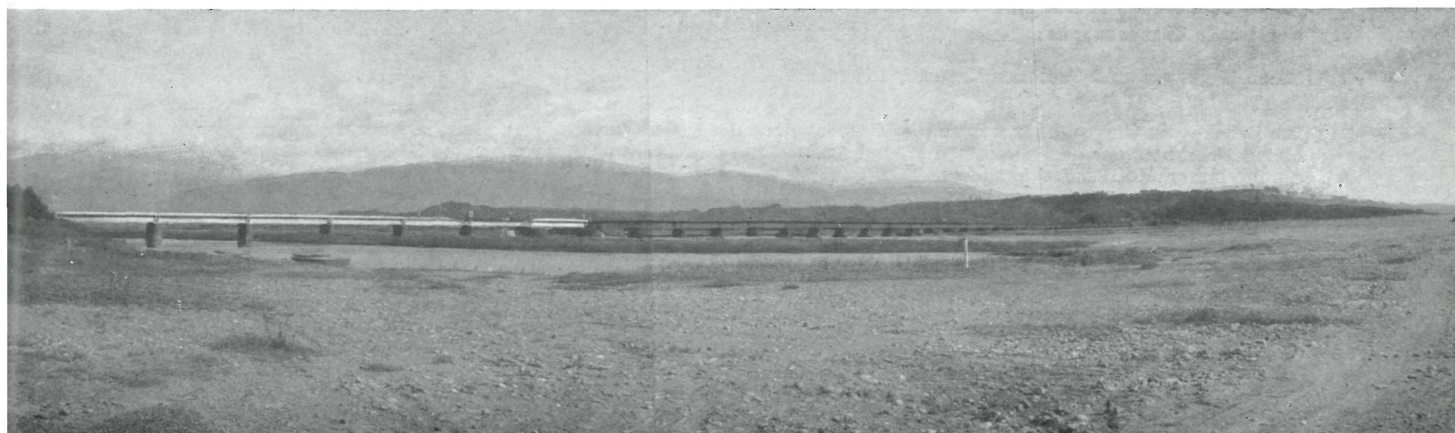
### Colocación de las vigas

Se empezó por almacenar las vigas lo más cerca posible del puente. Como el espacio de tiempo libre entre el paso de dos trenes consecutivos no era suficiente, se trabajó en jornadas nocturnas.

Debido a que los cantos de las vigas metálicas sustituidas son diferentes que las de hormigón, se hizo necesario recrecer la altura de las pilas 10 cm. Como la resistencia de este hormigón debía ser, por lo menos, de  $100 \text{ kg/cm}^2$  en el momento de pasar el primer tren, se empleó el cemento aluminoso. A pesar de ello, no se logró tal resistencia, por lo que se procedió a mezclar 1 h 30 mn ó 2 h 30 mn (según la temperatura) antes de emplear el hormigón y volverlo a agitar en el momento de colocarlo. Esta última operación permitió llevar la resistencia a  $100 \text{ kg/cm}^2$  cinco horas después de iniciar la mezcla.



Corrimiento lateral de una viga metálica.



### **Substitution du tablier du pont Omaru**

Misao Sugawara et Tsutomu Noguchi, ingénieurs.

Le pont Omaru, sur lequel passe la ligne de chemin de fer de l'île Kyushu au Japon, était une super-structure métallique et se trouvait soumis aux effets corrosifs de l'air marin étant donné sa proximité de la mer.

Comme les frais d'entretien sont élevés et que les structures métalliques subissent rapidement les effets de la corrosion, on a étudié la possibilité de remplacer les actuelles poutres métalliques par d'autres préfabriquées en béton précontraint.

Le problème ici posé est général et la solution adoptée pour cette substitution au pont d'Omaru est, en somme, un essai préalable dans le but de l'étendre, dûment perfectionnée, aux autres structures également métalliques, où la corrosion se fait sentir avec une intensité et une gravité croissantes.

La préparation des poutres, les méthodes employées pour la substitution, le train auxiliaire, le matériel mobile et la préfabrication sont décrits dans cet article.

---

### **Substitution of the Omaru bridge deck**

Misao Sugawara and Tsutomu Noguchi, engineers.

The Omaru Bridge, which carries the railway track to the Kyushu Island, in Japan, had a metallic superstructure, and as the bridge is close to the sea, had been subjected to the corrosion effect of sea water.

As upkeep expenses were high and such structures suffer rapidly from these corrosion effects, the possibility of substituting these metal girders by prefabricated prestressed structures was investigated.

The problem of this particular case is a general one, and the solution adopted in the case of the Omaru Bridge is in the nature of an initial trial, that could be applied more generally, after detail improvements, to other metal structures, where the damage of corrosion is increasingly serious.

This paper describes in detail the method of preparing the girders, the technique of substitution, auxiliary equipment, prefabrication, etc.

---

### **Ersetzung des Metallfachwerkes der Brücke von Omaru durch Spannbeton**

Misao Sugawara und Tsutomu Noguchi, Ingenieure.

Die Brücke von Omaru, über welche die Eisenbahnlinie der Insel Kyushu, Japan, führt, bestand aus einem Metall Ueberbau, der den korrosiven Wirkungen des Meereswassers ausgesetzt war, da sich das Werk in unmittelbarer Meeresnähe befindet.

Da die Erhaltungskosten hoch und die Metallkonstruktionen schnell Korrosionserscheinungen ausgesetzt sind, studierte man die Möglichkeit, die gegenwärtigen Metallstützen durch andere zu ersetzen, und zwar durch vorgefertigte aus Spannbeton.

Das hier aufgestellte Problem ist allgemein, und die angenommene Lösung für einen derartigen Ersatz an der Brücke von Omaru ist wie ein Vorversuch, der den Zweck hat, ihn entsprechend vervollkommen auf weitere ausdehnen zu können, und zwar ebenfalls metallische, an denen sich die Korrosion mit wachsender Stärke und Gefährlichkeit bemerkbar macht.

Die Vorbereitung der Stützen, die angewandten Methoden für die Ersetzung, der Hilfszug als bewegliches Material und die Vorfertigung sind Gegenstand einer genauen Beschreibung in dieser Arbeit.